ChinaXiv合作期刊

引用格式：陈亚宁, 李忠勤, 徐建华, 等. 中国西北干旱区水资源与生态环境变化及保护建议. 中国科学院院刊, 2023, 38(3): 385-393, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230120005.
Chen Y N, Li Z Q, Xu J H, et al. Changes and protection suggestions in water resources and ecological environment in arid region of Northwest China. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(3): 385-393, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230120005. (in Chinese)

中国西北干旱区水资源与生态环境变化及保护建议

chinaXiv:202303.10129v1

陈亚宁[1*] 李忠勤[2] 徐建华[3] 沈彦俊[4] 邢晓旭[5] 谢 天[6] 李 稚[1] 杨林山[2]
席海洋[2] 朱成刚[1] 方功焕[1] 司建华[2] 张元明[1]
1 中国科学院新疆生态与地理研究所 乌鲁木齐 830011
2 中国科学院西北生态环境资源研究院 兰州 730000
3 华东师范大学 地理科学学院 上海 200062
4 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心 石家庄 050021
5 中国科学院 科技促进发展局 北京 100864
6 中国科学院生态环境研究中心 北京 100085

摘要 水资源短缺是制约西北干旱区经济社会高质量发展和生态安全保障的最关键自然因素。文章系统分析了西北干旱区水资源与生态环境变化趋势，从用水结构、水资源利用效率等解析了水资源承载力变化。结果显示，西北干旱区气温以0.32℃/10年的速率升高，降水以9.32 mm/10年的速率增加；冰川加速萎缩，冰雪融水径流增加，自20世纪90年代中期以来，山区来水量增加约110×10^8 m^3，水资源可利用总量增加。近10年来，水资源节约利用成效显著，用水效率不断提高，水资源承载力不断增强，生态系统健康向好发展。但西北干旱区水资源问题依然突出，极端气候水文事件强度加大，生态环境仍然脆弱，未来需要进一步挖掘水资源潜力，提升水资源管理水平，加大生态保护修复力度，以应对气候变化可能带来的风险。

关键词 水文水资源，生态环境，气候变化，用水效率，西北干旱区

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20230120005

中国西北干旱区系指贺兰山—乌鞘岭以西，祁连山–昆仑山以北，包括新疆和河西走廊地区的广大西北内陆干旱区，约占中国国土面积的1/4（图1）；该区域以山地、荒漠为主体，荒漠、戈壁面积约占全国的80%[1]。西北干旱区远离海洋，气候干燥，降水稀少，多年平均降水量约为156.36 mm；其中，南疆

* 通信作者
资助项目：中国科学院重点部署项目（ZDRWZS-2019-3），国家自然科学基金（42130512）
修改稿收到日期：2023年2月10日

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.10129v1

塔里木盆地的多年平均降水仅为74.2 mm。西北干旱区是我国资源型缺水最严重的区域，水资源总量约995.57×10^8 m^3①，仅占全国的3.46%，是世界上最干旱的地区之一。同时，西北干旱区还存在工程型缺水、结构型缺水和管理型缺水，水资源短缺是制约西北干旱区社会经济发展的最关键自然因素。

西北干旱区以山、盆相间的地貌格局、山地-绿洲-荒漠复合生态系统为基本特点，水是连接山地-绿洲-荒漠三大生态系统的纽带。山区降水较丰沛，并发育有大面积现代冰川，冰川融水约占西北干旱区地表总径流的25%以上，在河川径流构成和稳定方面起着举足轻重的作用[2]；平原区以荒漠为主体，气候干旱，植被稀疏，生态环境极端脆弱，生产、生活、生态用水矛盾突出；人工绿洲面积不足10%，但承载了约98%的人口并生产了95%的国内生产总值（GDP），是西北干旱区人类活动和经济社会发展的主要载体。

全球变暖对西北干旱区水资源和生态系统产生了重要影响。气候变化引起的山区冰川/积雪变化和水循环过程改变，加剧了西北干旱区关键水文要素变率和水资源供给的不确定性，导致西北干旱区绿洲经济与荒漠生态两大系统的水资源矛盾更加突出。如何实现西北干旱区水-经济-生态协同发展，保障区域水、生态安全，是“丝绸之路经济带”建设的关键所在。本文基于野外实地调查及国家公开发布的公报数据，系统分析了西北干旱区水资源与生态环境基本特征，揭示了气候变化背景下西北干旱区冰川、积雪水资源潜力，探讨了水资源承载力及供需水风险，提出了水资源可持续利用和生态环境保护建议，旨在为推进绿色“丝绸之路经济带”建设、实现区域经济社会高质量发展提供科技支撑。

1 西北干旱区水资源与生态环境变化

1.1 气候要素变化

（1）气温、降水变化。西北干旱区气候水文要素对气候变化响应十分敏感。基于西北干旱区123个

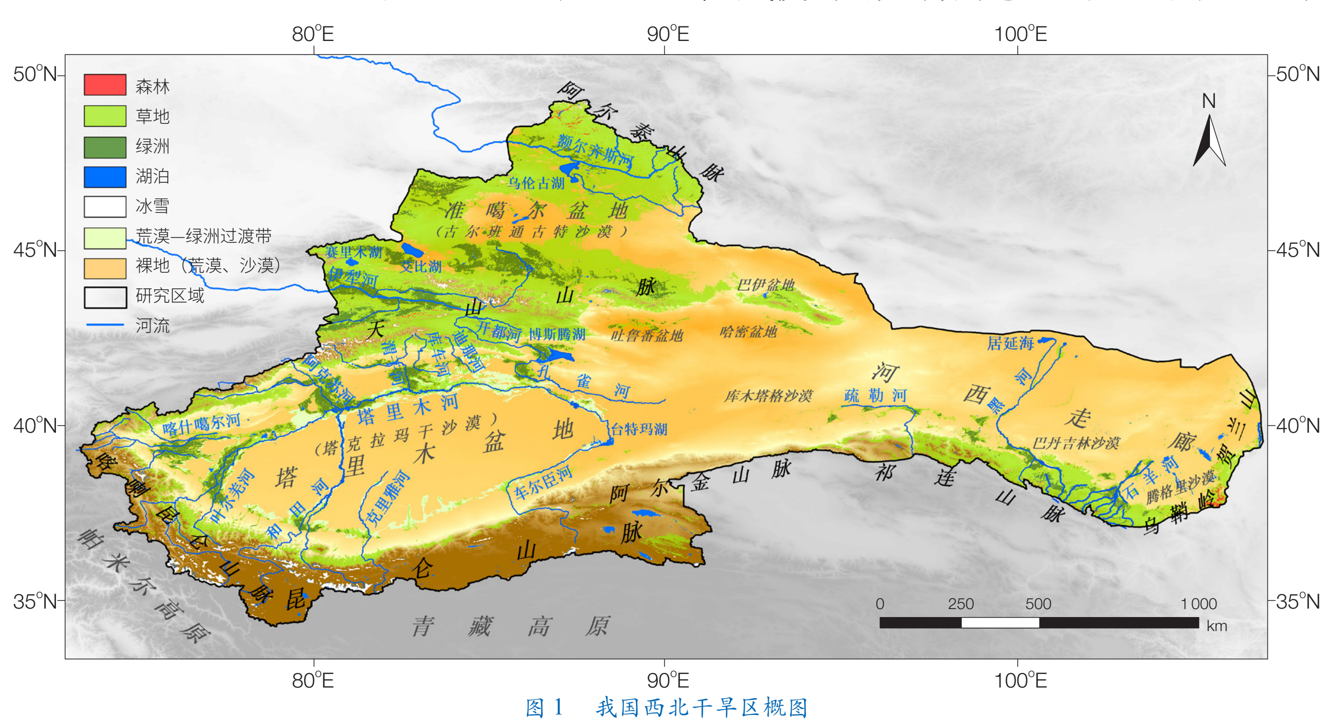


图1　我国西北干旱区概图

Figure 1　Sketch map of arid region of Northwest China

① 数据来源自中华人民共和国水利部发布的历年《中国水资源公报》（时间为2010—2020年）。

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.10129v1

气象观测站资料分析，1960—2020年，西北干旱区的气温整体呈上升趋势，并且上升速率明显高于全国（0.25℃/10年—0.29℃/10年）和全球平均水平（0.13℃/10年）。尤其在1998年，西北干旱区出现了“跃动式”升温，年平均气温由1960—1997年的7.50℃，升高至1998—2021年的8.63℃（图2），升温后较升温前的平均气温升高了1.13℃。与此同时，西北干旱区的降水量也以9.32 mm/10年的速率呈明显增加趋势，约96%的站点（118个）降水量呈增加变化，仅有5个站点的降水量呈下降变化，且降水变化速率具有明显的空间差异性；其中，北疆地区的降水增加量明显高于南疆和河西走廊地区（图3）。北疆降水量以11.26 mm/10年的速率增加，南疆和河西走廊地区降水量的增加速率分别为7.47 mm/10年和7.7 mm/10年。

（2）潜在蒸散发变化。气温升高导致西北干旱区蒸发能力加大。1960—2020年，西北干旱区潜在蒸散发量变化趋势表现为先下降后上升的趋势（图4），以1993年为转折点，由之前的下降趋势（−22.47 mm/10年）逆转为上升趋势（45.47 mm/10年）。在123个站点中，1993年以前约有93.5%的站点呈下降趋势，6.50%的站点呈上升趋势，而在1993年之后，约有14.60%的站点呈下降趋势，85.40%的站点呈上升趋势。就不同区域来看，南

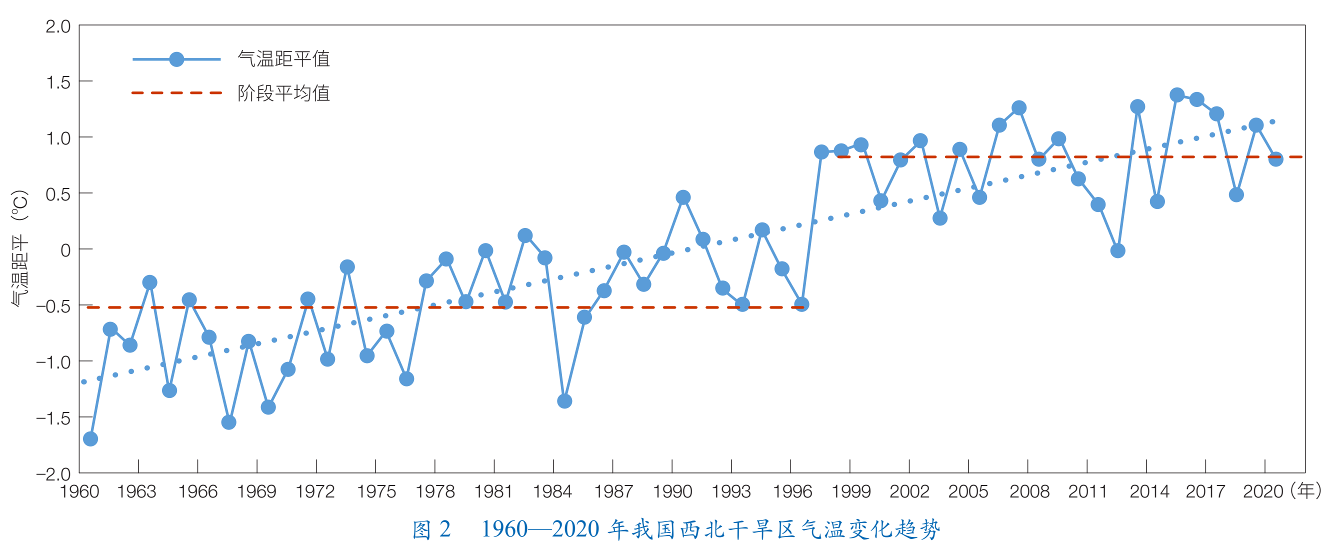


图2 1960—2020年我国西北干旱区气温变化趋势

Figure 2 Temperature changes of Northwest China from 1960 to 2020

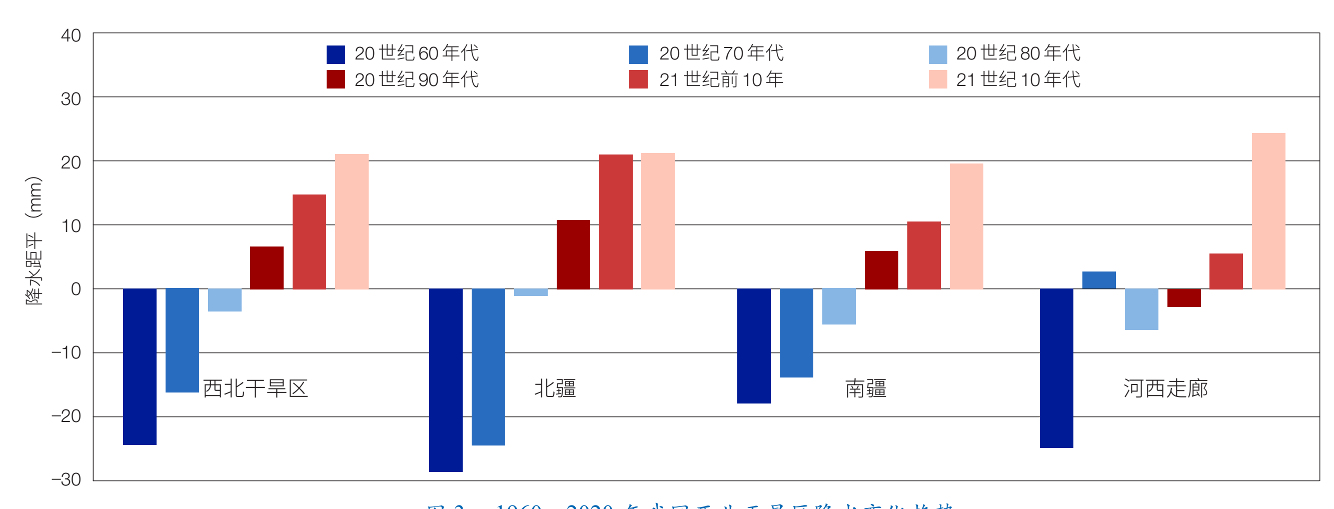


图3 1960—2020年我国西北干旱区降水变化趋势

Figure 3 Precipitation changes of Northwest China from 1960 to 2020

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.10129v1

疆地区潜在蒸散发量变化速率最为显著。1993 年以前，南疆地区潜在蒸散发量下降速率最快，约以 −41.66 mm/10 年的速率下降；河西走廊地区次之，约以 −23.06 mm/10 年的速率下降；北疆地区潜在蒸散发量下降速率最慢，约为 −5.48 mm/10 年。在 1993 年之后，仍以南疆地区变化速率最显著，南疆地区潜在蒸散发量以 56.68 mm/10 年的速率逆转为上升趋势；河西走廊地区次之，约以 45.54 mm/10 年的速率上升，北疆地区潜在蒸散发量上升速率最慢，约为 34.39 mm/10 年。

1.2 水文和水资源变化

西北干旱区水资源的形成、转化及水循环过程独特，水资源形成区与消耗利用区相互分离，水资源形成于山区，消耗于绿洲及荒漠区。水资源构成多元，由高山区的冰川积雪融水、中山森林带的降水和低山带基岩裂隙水等多元构成。西北干旱区水资源呈现时空分布不均的特点：在空间上，西部多、东部少；在年内变化上，表现为春旱、夏洪。气候变暖导致西北干旱区山区冰雪消融加速、降水增多，河川径流增加，但与此同时，气候变化加大了西北干旱区的极端水文事件强度，导致水文波动性增强、水资源不确定性增大。

（1）冰川、积雪萎缩。西北干旱区分布有天山、昆仑山、喀喇昆仑山、阿尔金山和祁连山等一系列高大山系，是我国冰川拥有量最多的地区。多源卫星遥感影像和冰川编目数据分析显示，西北干旱区分布有 23 378 条冰川，总面积 24 221.63 km^2，总储量为 2 155.82 km^3，分别占全国冰川总量的 48.1%、46.7% 和 47.8%，冰川作用强烈。在过去的 60 多年中，冰川面积减小了 18%，新疆境内的冰川面积缩小了 11.7%，预计至 21 世纪中叶，面积为 1 km^2 以下的小冰川不断消融殆尽，这将对以小冰川分布为主的河流产生重要影响[3,4]。塔里木河流域的阿克苏河、和田河和叶尔羌河，冰川融水占比大，冰川融水径流仍将呈

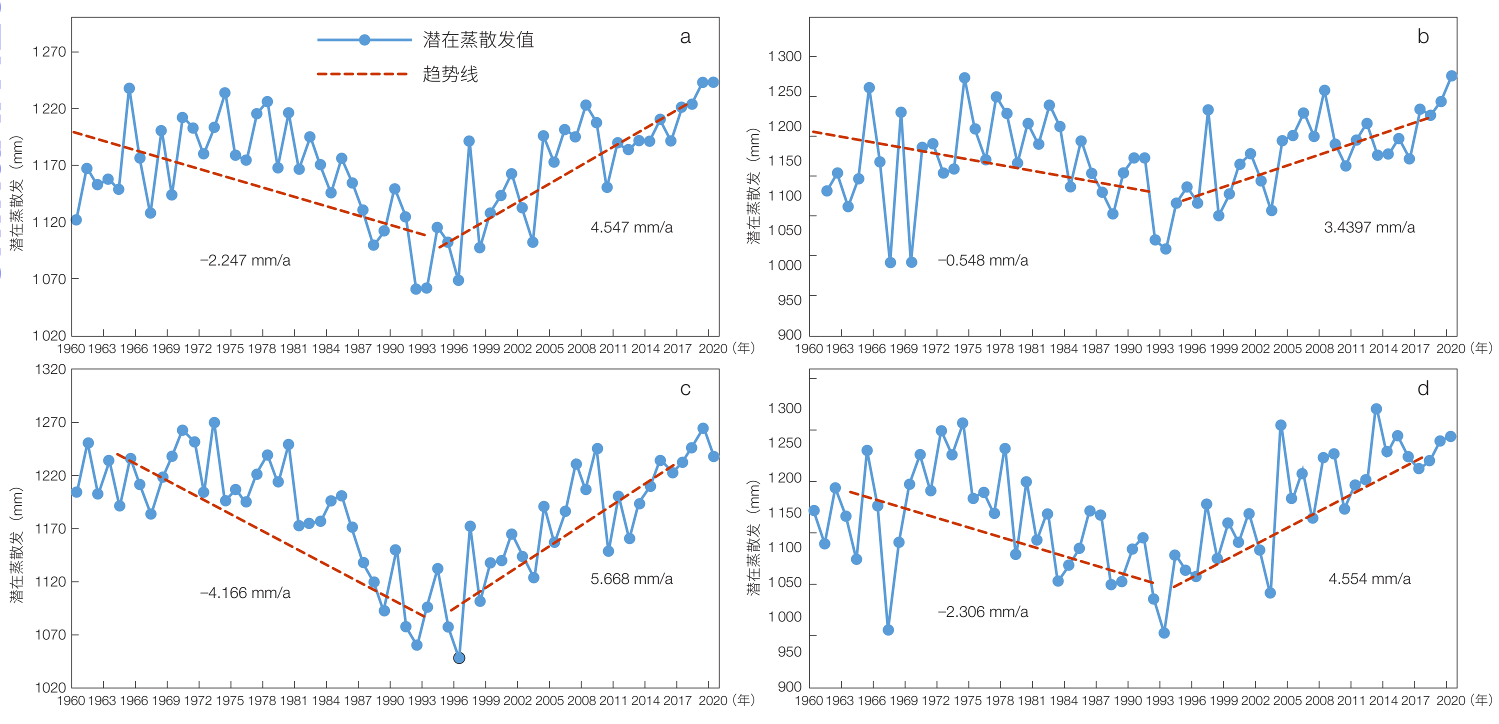


图 4　1960—2020 年我国西北干旱区不同地区潜在蒸散发量变化趋势

Figure 4　Variation trends of potential evapotranspiration in different areas of arid region from 1960 to 2020 of Northwest China

（a）西北干旱区；（b）北疆；（c）南疆；（d）河西走廊

(a) Northwest China; (b) North Xinjiang; (c) South Xinjiang; (c) Hexi Corridor region

chinaXiv:202303.10129v1

现持续稳定的增加趋势，对河川径流的补给和调节作用也会进一步增强[5,6]。然而，在21世纪中叶达到峰值后，随着冰川退缩，冰川的调节功能减弱，冰川径流可能会出现降低趋势[7,8]。

（2）径流量呈增加趋势。在过去的60年间，西北干旱区各河流区径流量均呈显著增加趋势（$p<0.05$）。其中，祁连山北坡径流量增加速度最快，为4.65×10^8 m^3/10年，昆仑山北坡和天山南坡次之，分别为3.62×10^8 m^3/10年和3.58×10^8 m^3/10年，天山北坡和阿尔泰山南坡径流量增加速度较慢，仅为0.51×10^8 m^3/ 10年和0.66×10^8 m^3/10年（图5）。近20余年，西北干旱区进入相对丰水时期，塔里木河流域的阿克苏河、叶尔羌河、和田河和开都河等“四源流”山区来水量合计增加了40.70×10^8 m^3，增幅高达18%（图6）。并且，对不同排放情景下径流预估结果显示，新疆塔里木河流域的开都河、阿克苏河、叶尔羌河、和田河及车尔臣河未来来水量仍将处于高位震荡，平均增幅为3.20%—7.55%。

1.3 水资源利用效率提升

自20世纪90年代中期以来，西北干旱区山区来水量增加了约110×10^8 m^3，水资源可利用总量大幅增加。并且，随着用水结构调整，水资源利用效率提升，以及水资源可利用量外延的不断拓宽，西北干旱区的水资源承载力处在提升和增强态势。

（1）用水效率不断提高。近10年来，西北干旱区水资源节约利用成效显著，用水结构不断优化，用水效率不断提高。农业用水比例下降，由2012年的95.84%下降到2021年的90.94%，其中，新疆由96.72%下降到91.98%，河西走廊地区由88.92%下降到82.55%；农业灌溉用水量降低，新疆农田灌溉亩均用水量由2012年的642 m^{3}下降至2021年的545 m^3，河西走廊由676.28 m^{3}下降至446 m^3；用水效率不断提高，新疆万元GDP用水量由2012年的728 m^{3}下降至2021年的359.1 m^3，万元工业增加值用水量由39 m^{3}下降至23.9 m^3；河西走廊地区的万元GDP用水量由441 m^{3}下降至252 m^3，万元工业增加值用水量由57.35 m^{3}下降至29 m^3。

（2）农业水生产效率显著提升。西北干旱区是我国重要的粮食、棉花和优质果蔬的主产区，农业生产发展迅速。近10年来，耕地面积由7.13×10^4 km^{2}增加到8.21×10^4 km^2；水利工程设施不断完善，灌溉定额降低，新疆和河西走廊地区的灌溉水利用

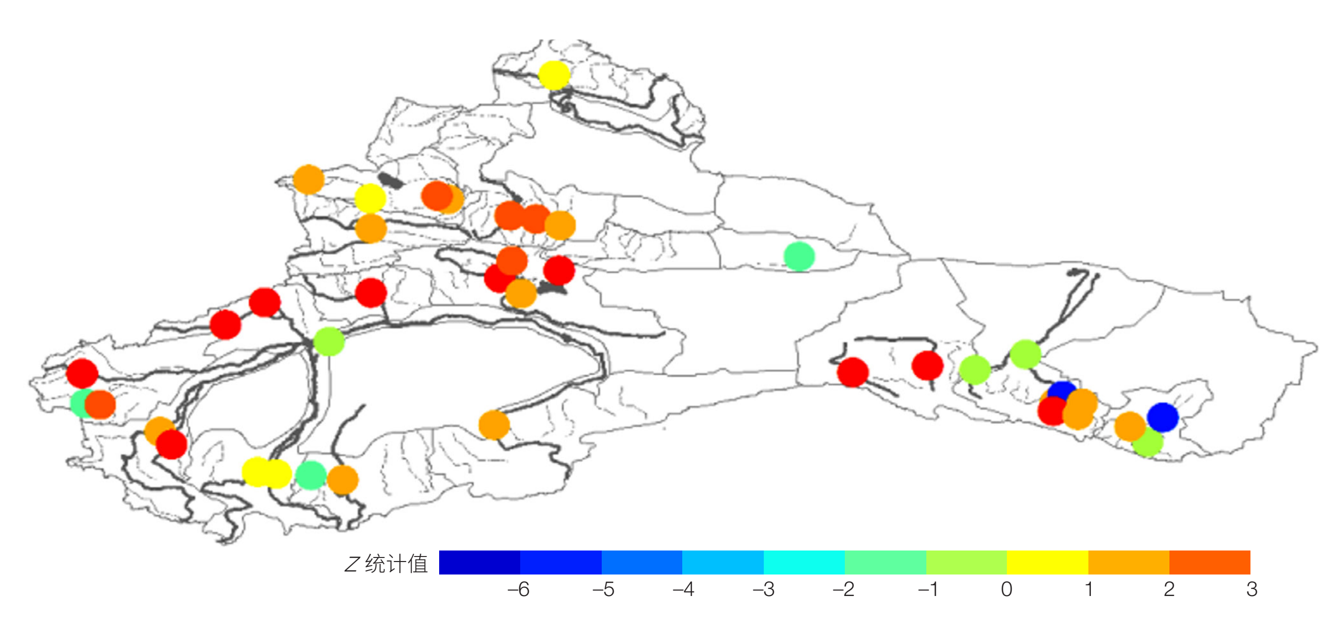


图5 西北干旱区主要水文站年均径流量 *M-K* 趋势检验 *Z* 统计值分布

Figure 5 Annual runoff trends of main hydrological stations in Northwest China

ChinaXiv合作期刊

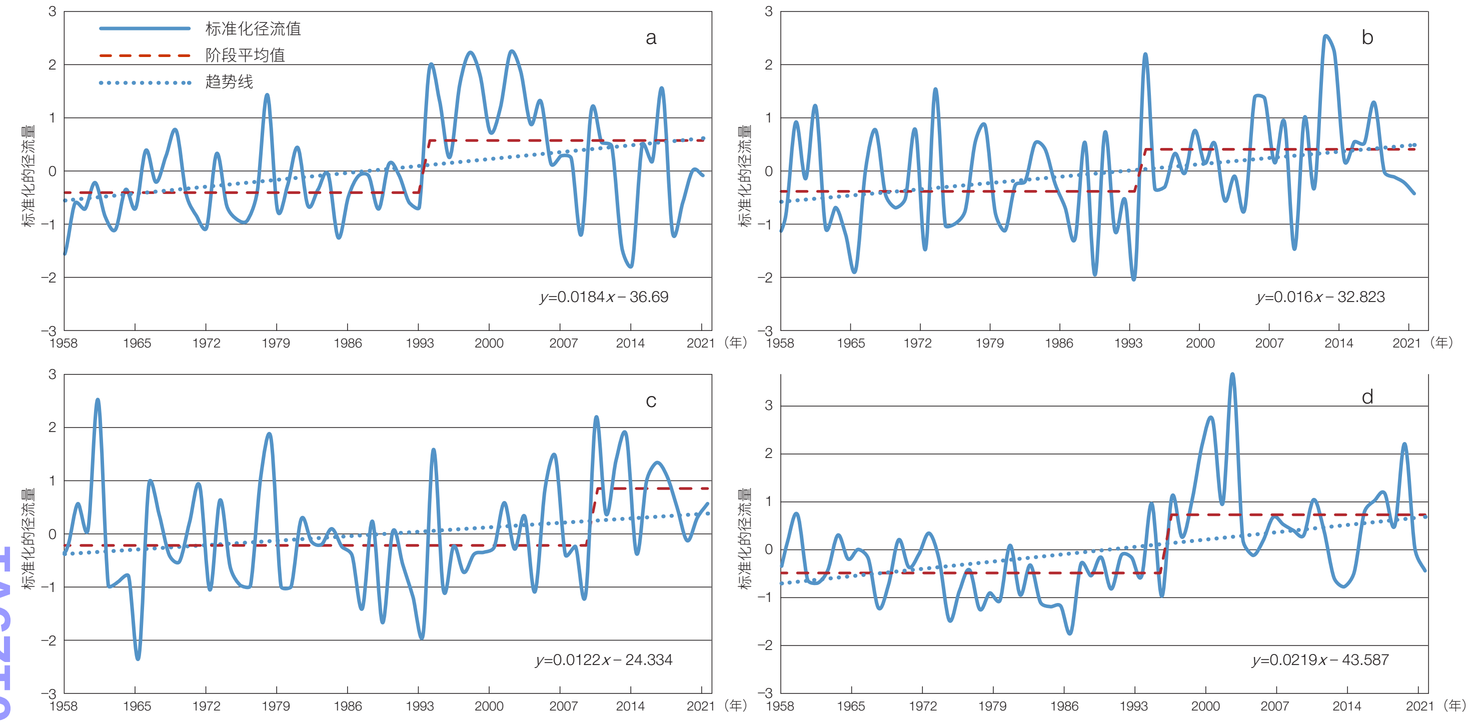


图 6　塔里木河流域“四源流”径流量变化

Figure 6　Runoff variations of “four sources” of Tarim River Basin

（a）阿克苏河；（b）叶尔羌河；（c）和田河；（d）开都河

(a) Aksu River; (b) Yarkant River; (c) Hotan River; (d) Kaidu River

chinaXiv:202303.10129v1

系数分别由 2012 年的 0.480 和 0.520 提高到了 2021 年的 0.575 和 0.588；灌溉保证率显著提高，灌溉面积由 2012 年的 5.81×10^4 km^2 增加到 2021 年的 7.60×10^4 km^2。随着国家最严格水资源管理制度的实施和节水灌溉技术的大面积推广应用，新疆和河西走廊地区的节水灌溉面积分别从 2012 年的 2.59×10^4 km^2 和 0.45×10^4 km^2 增加到 2021 年的 3.06×10^4 km^2 和 0.66×10^4 km^2；非常规水资源开发利用量逐年增加，从 2013 年 5.1×10^8 m^3 增加到 2020 年 15.4×10^8 m^3。

1.4 生态环境变化

党的十八大以来，生态文明建设融入经济社会建设的各方面和全过程，生态环境保护意识大幅提升，水资源节约利用与管理水平不断提高，经济社会用水结构逐步优化，结构性缺水问题在逐步改善。地表水体面积扩大，生态系统总服务价值提升，水环境质量总体向好，水环境容量显著增加，人类赖以生存的绿洲生态环境不断改善，生态系统健康向好发展。

（1）生态服务功能提升。西北干旱区生态服务功能总体向好，生态系统总服务价值不断提升，生物多样性呈增加趋势。近 10 年来，西北干旱区耕地、建设用地、高覆盖草地和水域面积呈增加态势，分别增加了 28.36%、69.79%、6.90% 和 24.30%。生态系统总服务价值从 2012 年的 14 147.72 亿元增加到 2021 年的 15 182.80 亿元，增幅为 7.32%。从不同地区生态服务价值来看，北疆地区生态服务价值总量最大，占西北地区的 51.74%，南疆次之（占39.57%），河西走廊地区最小（8.69%）。生物多样性呈增加趋势，生物丰富度指数由 2012 年的 13.78 上升到 2021 年的 14.13，过去 10 年增加了 2.54%，其中，北疆地区的生物多样性增加最为明显，生物丰富度指数由 2012 年的 21.96 上升到 2021 年的 22.82，增加了 3.92%。

（2）林地植被面积增加。新疆林地植被面积

chinaXiv:202303.10129v1

呈增加趋势。2006—2021 年，新疆林地总面积增加 $2.64×10^4$ km^2，其中，天然林地和人工林地面积分别增加了 $2.37×10^4 km^2$（增幅 35.24%）和 $0.27×10^4$ km^2（增幅 86.05%）；乔木林和灌木林面积分别增加了 $0.89×10^4$ km^2（增幅 36.91%）和 $1.75×10^4$ km^2（增幅 37.86%）。林草生态系统的碳汇能力明显提升。

（3）*地表水体面积扩大。*基于归一化差异水体指数（mNDVI）、增强植被指数（EVI）及归一化植被指数（NDVI）数据，采用 GEE 平台、综合多种统计分析方法，系统解析了西北干旱区地表水体面积的变化特征[12]。发现近 10 年来，西北干旱区水体面积显著增加，每年增加约 161.64 km^2。其中，南疆地区的湖泊水域面积扩张迅速，平均每年扩张约 23.79 km^2。2020 年新疆的湿地总面积达 15 245 km^2，与 2003 年第一次湿地调查结果比较，近 20 年面积增加了约 1 052 km^2，增幅达 7.41%。我国最大的内陆淡水湖博斯腾湖，作为新疆生态环境保护的一张名片，湖泊水位由 2012 年的 1 045.43 m 上升至 2021 年的 1 047.63 m，矿化度从 1.51 g/L 下降至 0.82 g/L，水质不断向好发展，水环境容量显著增加。

（4）*人工生态系统面积增加。*西北干旱区土地利用变化中，面积占比最高的土地利用类型是未利用土地，2000 年未利用土地面积为 1 323 900 km^2，约占西北干旱区面积的 66.97%，2020 年未利用土地面积持续减少，占比降低到 65.12%，2000—2020 年未利用土地的面积减少了 36 727 km^2，减少速率为 1 836.35 km^2/年，未利用土地主要向耕地和草地转移。同时，低覆盖草地主要向耕地、中覆盖草地和未利用土地转移。建设用地是西北干旱区面积最小的土地利用类型，2000 年为 5 332 km^2，2020 年建设用地面积剧增到 10 060 km^2，占比增加到 0.51%。虽然建设用地是所有土地利用类型中面积最小的类型，却是过去 20 年西北干旱区土地利用类型中增长最快的，2000—2020 年建设用地面积增加了 4 728 km^2，增长率为 88.67%，主要原因是城镇化速度加快。耕地作为西北干旱区现代人工绿洲区最重要的土地类型，面积一直呈增加的趋势，2000—2020 年耕地面积增加了 31 817 km^2，增长速率为 1 590.85 km^2/年，增幅为46.55%。近10年来，西北干旱区耕地面积增幅为15.19%，为守住国家18亿亩耕地红线作出了贡献。

2 西北干旱区水资源利用与生态环境保护建议

（1）*进一步挖掘西北干旱区的水资源潜力。*针对全球变化带来的水安全风险以及西北干旱区面临的资源型缺水、工程型缺水等问题，打好蓄水基础，用好调水补充，探索增水途径，优化水安全格局。*建议：*①*在蓄水方面，*加快山区重大控制性水利工程建设，提升水资源调蓄和保障能力，切实解决区域性、季节性和工程性缺水问题；②*在节水方面，*不断推进技术革新，进一步提升水资源生产效率，优化产业用水结构，大力推广农业高效节水技术；③*在调水方面，*基于“空间均衡”治水理念，加快流域间和区域外调水研究，破解资源型缺水瓶颈；④*在增水方面，*积极开展人工影响天气研究，实施山区人工增水，增强山区流域的蓄水养源能力。从节水、蓄水、增水和调水等方面，全面加强和提升水资源管控和调配能力，为经济社会高质量发展和生态安全提供水资源保障。

（2）*进一步提升水资源管理水平。*针对西北干旱区水资源管理问题，*建议：*① 加快推进水治理体系和治理能力现代化，大力提升水资源精细化、数字化、智能化、规范化和法治化管理水平，加强水资源集约利用，实现农业用水安全和“水-生态-农业”协调发展；② 积极探索和构建水资源与能源之间的替代性经济发展模式，以能补水，抽水蓄能，加强清洁、绿色水能开发，实现水-能-粮协同发展；③ 加快重大引调水和骨干水源工程建设，加强水网工程建设，以应对未来气候变化引发的不断增强的极端水文事件，大力提升水资源管控能力，提高水资源利用效率，以水定

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.10129v1

地、以水定绿、以水定城、以水定发展。

（3）进一步加大生态保护修复力度。针对新疆干旱区资源型缺水严重、生态环境脆弱的自然环境条件，建议：① 加快构建和完善“政府主导与民众参与、自然修复与人工治理、法律约束与政策激励，治理生态与产业发展、改善民生相结合”的生态修复治理体系与生态–水利工程管理模式。② 加快河–湖–库及干–支流水系连通，加大对荒漠–绿洲过渡带的封禁保护力度，提升荒漠区天然植被的生态屏障功能，全面提升西北干旱区林草质量和林草系统的碳汇能力，为“双碳”目标的实现和“美丽新疆”的建设提供助力与支撑。③ 加快对微咸水、云水的开发和洪水资源化利用，通过人工增雨活动，提升山区水源涵养功能；加强对季节性洪水的资源化利用，引导洪水对平原区荒漠河岸林实施人工漫溢和洪泛，促进荒漠林草的自然更新、自我修复和自然扩绿，构建人与自然和谐的山水林田湖草沙生命共同体。

参考文献

1 陈亚宁. 中国西北干旱区水资源研究. 北京: 科学出版社, 2014.

Chen Y N. Research on Water Resources in Arid Regions of Northwest China. Beijing: Science Press, 2014. (in Chinese)

2 秦大河, 翟盘茂. 中国气候与生态环境演变. 北京: 科学出版社, 2021.

Qin D H, Zhai P M. Climate and Environment Changes in China. Beijing: Science Press, 2021. (in Chinese)

3 吴立宗, 李新. 中国第一次冰川编目数据集. 兰州: 寒区旱区科学数据中心, 2004.

Wu L Z, Li X. The first Chinese Glacier Inventories. Lanzhou: Scientific Data Center for Cold and Arid Regions, 2004. (in Chinese)

4 刘时银, 郭万钦, 许君利. 中国第二次冰川编目数据集. 兰州: 国家冰川冻土沙漠科学数据中心, 2019.

Liu S Y, Guo W Q, Xu J L. The Second Chinese Glacier Inventories. Lanzhou: National Cryosphere Desert Data Center, 2019. (in Chinese)

5 李忠勤, 李开明, 王林. 新疆冰川近期变化及其对水资源的影响研究. 第四纪研究, 2010, 30(1): 96-106.

Li Z Q, Li K M, Wang L. Study on recent glacier changes and their impact on water resources in Xinjiang. Quaternary Sciences, 2010, 30(1): 96-106. (in Chinese)

6 李忠勤. 山地冰川物质平衡和动力过程模拟. 北京: 科学出版社, 2019.

Li Z Q. Simulation of Mass Balance and Dynamic Process of Mountain Glaciers. Beijing: Science Press, 2019. (in Chinese)

7 Huss M, Hock R. Global-scale hydrological response to future glacier mass loss. Nature Climate Change, 2018, 8(2): 135-140.

8 Zhao H Y, Su B, Lei H J, et al. A new projection for glacier mass and runoff changes over High Mountain Asia. Science Bulletin, 2023, 68(1): 43-47.

9 Wang H J, Chen Y N, Li W H. Characteristics in streamflow and extremes in the Tarim River, China: Trends, distribution and climate linkage. International Journal of Climatology, 2015, 35(5): 761-776.

10 Fang G H, Li Z, Yang J, et al. Changes in flooding in the alpine catchments of the Tarim River Basin, Central Asia. Journal of Flood Risk Management, 2022, e12869.

11 Deng H J, Chen Y N. Influences of recent climate change and human activities on water storage variations in Central Asia. Journal of Hydrology, 2017, 544: 46-57.

12 Huang W J, Duan W L, Chen Y N. Unravelling lake water storage change in Central Asia: Rapid decrease in tail-end lakes and increasing risks to water supply. Journal of Hydrology, 2022, 614: 128546.

ChinaXiv合作期刊

Changes and Protection Suggestions in Water Resources and Ecological Environment in Arid Region of Northwest China

CHEN Yaning[1*] LI Zhongqin[2] XU Jianhua[3] SHEN Yanjun[4] XING Xiaoxu[5] XIE Tian[6] LI Zhi[1] YANG Linshan[2] XI Haiyang[2] ZHU Chenggang[1] FANG Gonghuan[1] SI Jianhua[2] ZHANG Yuanming[1]

(1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China;
2 Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;
3 School of Geographic Sciences, East China Normal University, Shanghai 200062, China;
4 Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021, China;
5 Bureau of Science & Technology for Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100864, China;
6 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

chinaXiv:202303.10129v1

Abstract The arid region of Northwest China is one of the driest regions in the world and is characterized with severe water scarcity. Water shortage is the most critical natural factor limiting the high-quality economic and social development and ecological security in the arid region of Northwest China. Based on the long-term monitoring data from the field stations of Chinese Academy of Sciences, observation data of meteorological stations, water resources bulletin and the remote sensing data, this study systematically analyzes the basic characteristics of water resources and ecological environment in the arid region of Northwest China, assesses the changing trends of hydrological elements, water resources, and ecological environment. Besides, this study analyzes the changes of water resources carrying capacity in terms of water use structure and water resources utilization efficiency, and puts forward some suggestions on sustainable water resources utilization and ecological and environmental protection. The results show that the temperature in the arid region of Northwest China has increased at a rate of 0.32 ℃/decade and precipitation has increased at a rate of 9.32 mm/decade. The glaciers are shrinking at accelerating rate and the runoff supplied by glacier/snow meltwater has increased. The amount of water resources has increased by about 11 billion m^3 since the mid-1990s. In the past decade, water use efficiency has been improved, water-saving irrigation area has been expanded, and agricultural water production efficiency has been improved due to water conservation and utilization measures. Water environment capacity has been increased, water carrying capacity has been enhanced, surface water area has been expanded, and the ecosystem condition has improved. However, water resources problems are still prominent in the arid region of Northwest China, the intensity of extreme climate and hydrological events has increased, and the ecological environment is still fragile. In the future, it is necessary to further explore the water resources potential of this region, improve the water resources management, and enhance ecological protection and restoration efforts for better adaptation to the possible risks of climate change, so as to provide scientific and technological support for promoting the construction of the "Green Silk Road" and realizing high-quality regional economic and social development.

Keywords hydrological processes and water resources, ecological environment, climate change, water use efficiency, arid region of northwest China

陈亚宁 中国科学院新疆生态与地理研究所研究员，荒漠与绿洲生态国家重点实验室主任。主要从事干旱区水资源与地表过程研究。E-mail: chenyn@ms.xjb.ac.cn

CHEN Yaning Professor in Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences (CAS), Director of the State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology. His research fields cover water resources and land surface processes in arid regions.
E-mail: chenyn@ms.xjb.ac.cn

■责任编辑：张帆

*Corresponding author